

# KGS Spring '95 National Conference 25, March, 1995/Seoul/Korea

## 네트론망을 이용한 地盤補強에 관한 研究

### A STUDY ON SOIL REINFORCEMENT BY NETLON GEONET

신은철, Eun Chul Shin

시립 인천대학교 공과대학 토목공학과 전임강사, Professor, Dept. of Civil Engineering, University of Incheon.

조영춘, Young Choon Cho

대림산업(주), 프라스틱 가공사업부, Pre-Marketing 팀장, Director of Pre-Marketing, Plastic Manufacturing Division, Daelim Industrial Co., LTD., Seoul

개요(SYNOPSIS) : 철도자갈층 저부에 네트론망의 보강효과에 대해서 기술하였다. 네트론망은 연약지반에서 점토의 뒹뒹을 방지할 수 있고 점성토로된 연약노상토를 보강할 수 있다. 제방시공에 있어서 네트론망은 제방사면 끝 부분을 보강함으로써 그곳의 다짐도를 증가시키면서 제방의 안정을 증대시킬 수 있다. 네트론망은 바람이나 강우로부터 제방사면의 표층부를 보호하는데 매우 효과적으로 쓰여질 수 있다. 또한 네트론망은 제방 사면 표층부에 잔디가 잘 성장하도록 좋은 주변환경을 제공하여 줄 수 있고, 잔디뿌리와 함께 보강효과를 증진시킬 수 있다.

The effectiveness of Netlon Geonet reinforcement at the base of railway ballast has been described. It can prevent the clay pumping in soft soil and reinforce the soft subgrade of cohesive soil. The Netlon Geonet in the embankment construction can be utilized to increase the compactability of edge of embankment slopes and hence increase the stability of embankment. The Netlon Geonet has been used very efficiently to protect the surface of embankment slope against wind and rain. It can also provide a favorable environment for promoting vegetation growth on the earth slope of embankment and it is well reinforced at its root with net.

#### 1. 서론

인구증가와 현대사회의 급속한 발전으로 용지 수요가 절대적으로 부족함에 따라 주어진 국토의 최대한 활용이라는 목표아래 대단위 토목공사가 활발히 진행되고 있다. 지리적 요건 및 활용 목적에 따라 사면안정, 지반안정은 가장 큰 문제로 대두되고 있다.

상기 문제를 해결하는 방안으로 1970년대에 토목섬유(Geotextiles)가 토목공학 분야에 소개됨에 따라 토목섬유를 제한된 범위 내에서 용벽 및 연약지반 보강재로 사용하기 시작하였다. 그 이후 1980년대 초에 영국에서 인장강도가 토목섬유보다 훨씬 높은 Polymer Grid가 소개되었으며, 국내에서는 1994년 후반기부터 네트론망이 생산되어 각 토목현장에서 사용되고 있다. 네트론망은 영국, 일본, 인도등 세계 여러 나라에서 철도 노상토 안정과 관련되어 많이 쓰여왔다. 적용범위는 크게 다음과 같이 분류할 수 있다. (i) 철도보조기층 파손에 따른 자갈층(ballast)의 보호, (ii) 점토층의 뒹뒹현상으로부터 자갈층 보호, (iii) 제방의 사면안정, (iv) 제방에 잔디가 자라도록 사면보호 (v) 하천 및 해안제방의 사면보호, (vi) 용벽보강

본 논문에서는 철도노반의 보강, 제방의 사면보강 및 제방의 토사면 보호에 관해서 기술하였다.

#### 2. 철도노반의 네트론망 이용

##### 2.1 기본원리

철도노반이 구조를 보면 보조기층, 직경이 약 5cm되는 자갈로 구성된 약 25cm두께의 자갈층, 그 위에 침목과 철도레일이 놓이게 된다. 침목의 기능은 철도레일을 정해진 위치에 고정시키는 것이고, 둘째로 기차로부터 받은 높은 동적하중을 자갈층에 분배하는 역할을 한다. 침목 밑에 위치한 자갈층은 보조기층이 동적하중으로 인해 피해를 입지 않도록 하중을 분산시키는 역할을 한다. 간혹 큰 자갈이나 모래 필터를 자갈층(ballast)와 보조기층사이에 만들어 자갈층과 보조기층이 서로 혼합되거나 과다하중을 받지 않게 한다. 이 경우의 단면도가 그림 2.1에 표시되어 있다. 철도노상토의 보조기층이 양호한 지지전단력이 있는 골재로 축조하였을 시, 그림 2.2에 나타난 것과 같이 높은 동적하중은 철도노상토를 손상시키지 않고 모두 흡수되었다.

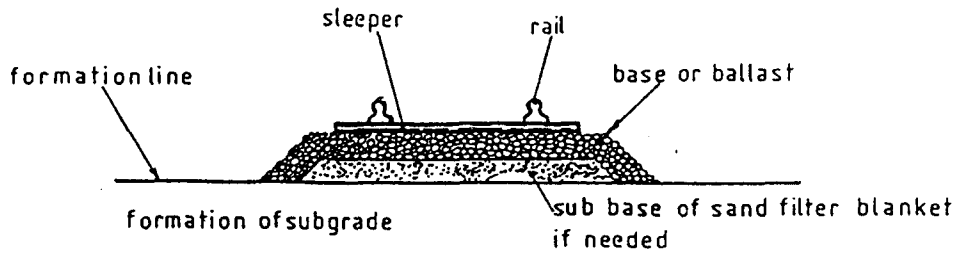


Fig 2.1 A typical railway track cross-section

**DRY BALLAST NO PUMPING**

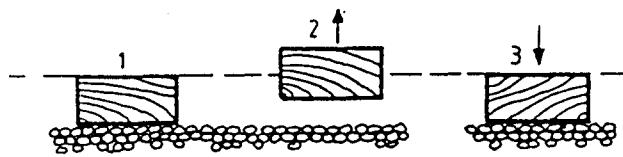


Fig 2.2 Dry ballast with no pumping : (1) Normal position, (2) Sleeper Lifts, (3) Sleeper comes down.

**SATURATED BALLAST PUMPING OCCURS**

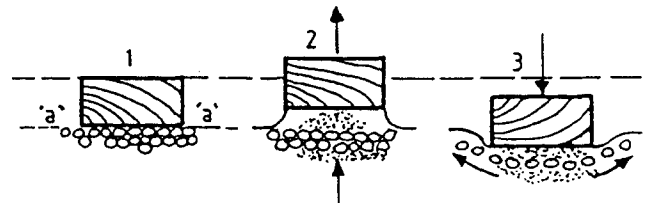


Fig 2.3 Saturated ballast with Clay pumping : (1) Normal position, (2) Sleeper lifts, water is drawn up, (3) Sleeper comes down, train pushes the water down.

**2.2 점토의 뽀뽀현상(Clay Pumping)**

철도노상토가 실트나 점토와 같이 물을 흡수하여 연약해지거나 액화되어 노반 자갈층내로 침투되어 파괴되는 현상을 점토의 뽀뽀현상 (Clay Pumping)이라고 한다. 이와 같은 현상은 그림 2.3에 잘 나타나 있다. 이러한 노상토의 파괴는 표면에 위치한 철도레일을 손상시키거나 수평을 유지치 못하여 기차운행속도를 줄여야 되거나 심지어는 철도레일을 벗어나게 되기도 한다. 이러한 사고를 방지하는 종래의 방법은 심도 깊은 모래성토(deep sand blankets)가 있고 근래에는 얇은 모래성토(shallow sand blankets)를 한후 폴리머 쉬트 (Polyethylene sheet)를 까는 방법을 쓰고 있다.

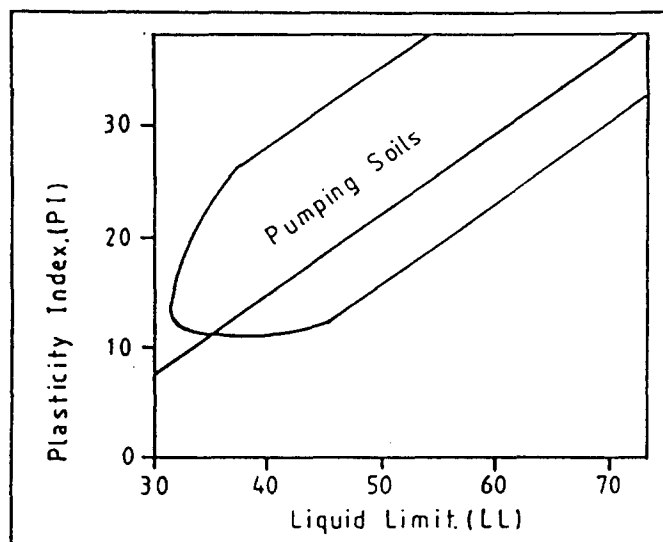


Fig 2.4 Typical pumping soils which have caused failure or partial failure in the past.

영국과 미국에서는 뒹핑하기 쉬운 흙들을 점토의 소성지수와 액성한계로서 그림 2.4와 같이 구분하였다. 소성지수와 액성한계로서 그림 2.4와 같이 구분을 하였다. 영국, 인도등 여러 나라에서는 그림 2.5와 같이 네트론망을 토목섬유와 함께 사용하거나, 얇은 모래성토와 함께 사용하여 점토의 뒹핑을 억제하여 연약지반에서 철도노반상의 문제점을 그림 2.6에 보여준 것과 같이 해결하였다. 현장경험에 의하

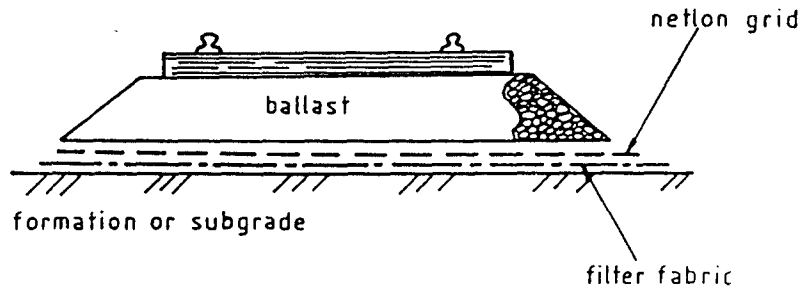


Fig 2.5 The use of reinforcement in conjunction with a filter fabric.

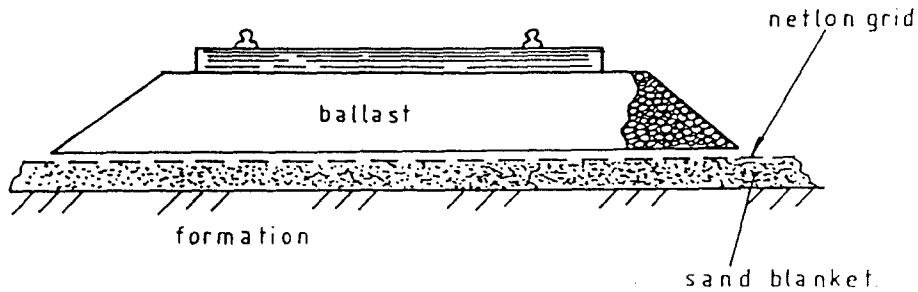


Fig 2.6 The use of reinforcement in conjunction with a shallow sand blanket.

면 점토뒹핑을 방지하거나 또는 철도노상토를 보강하기 상기의 두방법 중 토목섬유만 사용했을 때는 철도 노반자갈층(ballast)이 움직여 토목섬유가 아주 심하게 손상되었음을 발견하였다. 하지만 그림 2.5에서처럼 네트론망을 토목섬유와 동시에 사용했을 때는 자갈이 공간 간격(aperture)이 6~8mm를 갖고 있는 네트론망 CE121사이에서 상호구속되어 중간층을 형성하여 자갈과 토목섬유 사이의 동적이동을 최소한으로 줄일 수 있다. 그림 2.6의 경우에 네트론망은 모래성토층의 상부표면을 보호하고 자갈과 모래가 혼합되는 것을 방지하여 모래 성토층을 장기간 사용할 수 있게 된다.

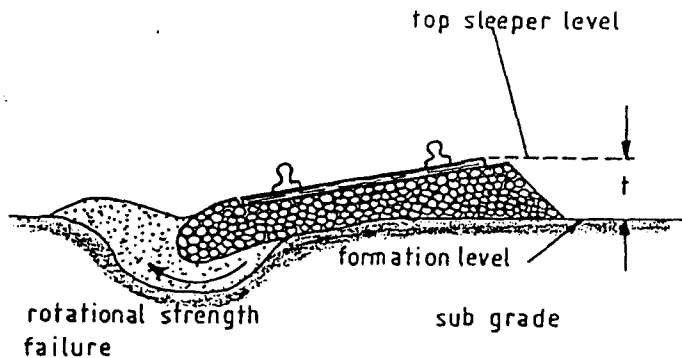


Fig 2.7 The failure of railway formation over weak soft soil.

### 2.3 철도노상토의 전단강도

점토의 팽팽현상에 더불어 고려할 사항은 노상토의 전단강도인데, 특히 노상토가 습기에 예민한 점토일 때 전단강도가 문제시된다. 도로의 노상토가 연약한 지반일 때 파괴되는 것과 같이 그림 2.7에 나타난 것과 같이 흙의 이동으로 철도 노반체가 안정을 잃게 된다. 특히 점토에서의 동적하중은 정적하중보다 더욱 위험한 조건이다. 왜냐하면 가해지는 하중이 위험수준이상이면 흙을 구성하고 있는 입자가 빠르게 파괴되기 때문이다. 만약 자갈층의 두께가 충분하여 주어진 최대 동적하중을 감소시킬 수 있다면 철도노반의 안정은 유지될 수 있다. 철도노상토의 전단강도에 대응하는 자갈층(ballast)의 두께를 산정할 수 있는 잠정적인 설계곡선이 현장에서 파괴된 경우와 안정된 경우를 바탕으로 그림 2.8과 같이 제시되었다.

연약지반의 노상토를 네트론망으로 보강할 때 철도자갈층의 보강정도는 그림 2.8과 유사하게 나타날 것이다. 이러한 경우에 25mm의 공간간격을 가진 네트론망에 자갈들이 상호구속되어 좌굴을 방지함에 따라 아주 적합하리라 예측된다. 자갈과 네트론망사이의 개개의 토립자로서 거동하는 것이 아니라 하나의 집합체로서 거동하기 때문에 상당한 보강 효과를 가져오게 입증되었다.

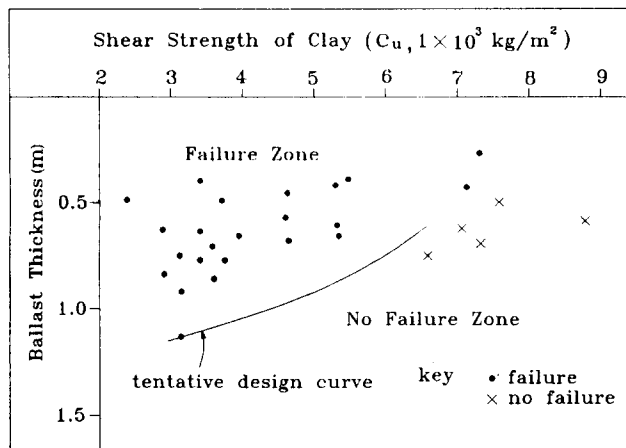


Fig 2.8 A tentative design curve of ballast thickness against soil strength.

### 3. 제방의 보강

네트론망이 토층사이에 보강되었을 때 입증되었던 기계적인 상호 구속력과 응력전달체계는 제방을 건설하는 데서도 큰 효과가 있다. 많은 제방들은 함수비에 역비례해서 전단강도를 가진 점토로서 건설되기 때문에 흙의 성질은 시간이 경과함에 따라 증가된다. 따라서 제방은 건설 직후가 가장 불안정하며, 시간이 경과함에 따라 점토 안에 있는 간극수압이 소산되어 안정도가 증가하게 된다.

#### 3.1 제방의 다짐도

국립일본철도(JR)의 많은 현장공사 사례에 의하면 네트론망을 미리 정해진 제방사면을 따라 수평으로 보강하였을 때 제방노건토까지 다짐을 할 수 있었다. 이런 경우에 특히 중요한 것은 제방 가장자리에 위치한 흙들은 다짐도가 저하되어 물의 유입에 따라 가장 피해를 받기 쉽기 때문이다. 이런 특별한 제방 구조물을 네트론망을 사용하여 다짐효과를 증진시킨 사례는 그림 3.1에 잘 나타나 있다.

#### 3.2 제방구조물의 안정도

점토를 사용하여 제방을 빠르게 시공을 하였을 때 제방 구조물의 불안정이 시공기간이나 또는 시공 직후 일어날 수 있다. 이때 네트론망을 점토다짐층 사이에 수평으로 보강함으로써 그림 3.2에 보여준 것과 같이 파괴선을 차단하여 제방 전체의 안정성에 기여할 수 있다. 제방의 필요한 안전율은 첫번째 단계로 성토의 비배수 전단강도를 사용하여 보강되지 않은 상태에서 산정한다. 두번째로 요구되는 정도의 안전율을 유지하기 위한 구속인장력의 크기를 계산한 다음 이 힘을 유지하는데 필요한 충분한 보강재의 길이와 층수로 제방을 보강한다.

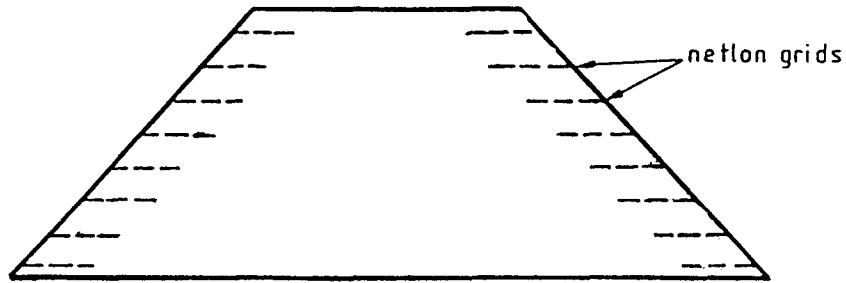


Fig 3.1 The inclusion of polymer grids into the shoulders of embankments is extremely beneficial, as it allows compaction equipment to operate up to the edge of the fill during construction.

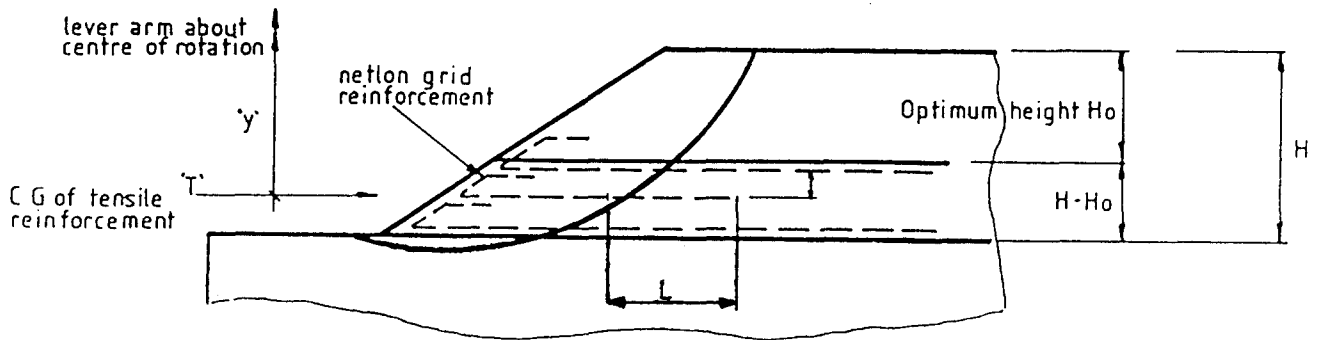


Fig 3.2 The optimum height ( $H_o$ ) is that height to which an unreinforced bank may be constructed which will give the required design  $F_oS$ .

#### 4. 토사면의 안정

네트론망은 지표면의 강우나 바람등 침식작용에 의한 토사면의 안정을 유지하는데도 널리 사용되어지고 있다. 네트론망의 고강도 종단면은 강우나 바람으로부터 사면에 뿌린 잔디 씨앗을 보호하여 잘 성장하게끔 이상적인 주위환경을 제공해주고 있다. 네트론망을 사면 위에 잔디를 고정핀으로 고정을 시키면, 잔디가 성장하면서 뿌리가 네트론망과 연계되어 토사면을 보강하게 된다.

#### 5. 결론

보강토 공법은 건설기술의 발달과 용지수요의 급증으로 가장 경제적인 건설공법으로서 많이 사용될 것으로 전망된다. 본 논문에서는 네트론망을 이용한 여러 보강토 시공사례를 고찰해 보았다. 시공현장경험과 시공사례를 바탕으로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1. 연약지반상에 철도노반 시공시에 있어서 네트론망을 모래성토층, 토목섬유와 함께 자갈층 하단부에 보강함으로써 점토의 팽창현상을 방지하고 동적하중의 분배를 균일하게 유지하여 철도노반구조물 안정에 크게 기여할 수 있다.
2. 철도노반 시공시 점토의 전단강도에 따른 자갈층의 두께를 산정할 수 있는 경험도표를 제시하였다.
3. 네트론망으로 제방사면 노건토를 보강함으로써 제방의 다짐도를 증가시켜 제방 전체 안정도를 증진시킬 수 있다.

#### REFERENCE

- Health, D. L. et al. (1972). "Design of Conventional Rail Track Foundations". Proc. Inst. Civ. Engrs, Vol 51 & 53.
- Iwaki & Watanabe. (1978). "Reinforcement for Reinstating Unstable Slopes". Proc. ASCE Symposium on Earth Reinforcement.
- Murray, R. T. (1984). "Reinforcement Techniques in Repairing Slope Failures," Proc. of Conference on Polymer Grid Reinforcement, pp. 47., London.
- Wrigley, N. E. (1988). "The Performance of polymeric materials". *Plastics in the Ground, Chemistry and Industry*, pp.414-420
- Shelton, W.S. & Wrigley, N.E.(1987). "Long-term durability of geosynthetic soil reinforcement". *Procs. of Geosynthetic '87 Conf.* pp. 442-455, New Orleans.